

遡上津波一構造物衝突問題に対する OpenFOAM の適用性について

名古屋大学大学院工学研究科 学生会員 ○ 坂谷 太基
(株)ハイドロソフト技術研究所 正 会 員 川崎 浩司

1. はじめに 東北地方太平洋沖地震により発生した津波は、既存の防波堤や防潮堤を大きく越えて内陸部まで遡上し、東日本の太平洋沿岸を中心に深刻な被害をもたらした。この未曾有の災害を契機に、内閣府(2012)は従来の地震・津波の想定を見直し、科学的に知見に基づく最大クラスの地震・津波に対する検討を行った。このように、今後、防災・減災対策を考える上では、最大クラスの災害を考慮することが必要である。また、津波解析では、津波波源を含んだ広範な計算領域が必要となるため、3次元解析は、計算コストの都合上、一般に困難である。このため、長波近似を用いた線形長波理論や非線形長波理論によって平面2次元的に解析されることが多い。しかし、近年では、コンピュータの性能向上により、比較的広範囲な領域においても、3次元解析が可能となってきた。例えば、野中ら(2013)は、スーパーコンピュータ京を用いて大規模3次元津波解析を行うとともに、その結果を用いて橋脚の3次元構造解析を行っている。しかしながら、これまでの3次元津波解析では、解析手法の適用性や解析結果の再現性を検討した例は少なく、数値モデルの検証が不十分であるといえる。そこで、本研究では、3次元数値流体力学ツール OpenFOAM (Open source Field Operation And Manipulation) を既往の大規模水理模型実験に適用し、その有用性について検討を行う。

2. 解析の概要 本研究では、有川ら(2007)が実施した大規模水理模型実験を対象に、再現計算を行った。水理模型実験では、図-1 に示す水槽で発生させた段波を、コンクリート壁(図-2 参照)に衝突させて、P1～P5 における波圧を測定している。また、有川ら(2006)をもとに、波圧の時系列を図-3 に示すように分類し、衝撃段波波圧と最大重複波圧に関して考察を行っている。計算領域は、図-1 に示すように、水理模型実験と同じ領域を設定し、左側に造波境界を、右側に開境界を設定した。造波は、有川ら(2006)をもとに、造波境界に造波板の押し出し速度を与えることで再現した。解析では、OpenFOAM 内の標準ソルバの1つである interFoam を用いた。interFoam は、等温・非圧縮・不混和の2相流体を対象としたソルバであり、界面の追跡には VOF (Volume Of Fluid) 法を、速度と圧力の連成解法には PISO (Pressure Implicit with Splitting of

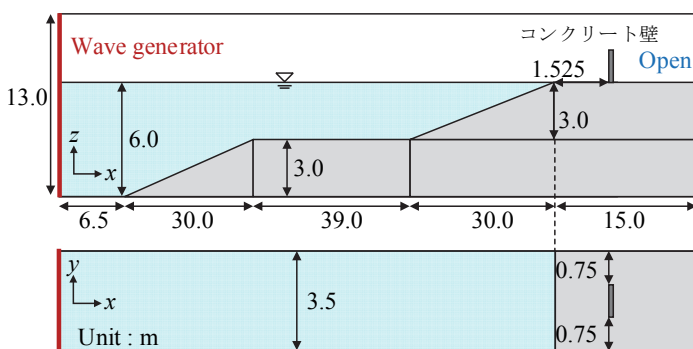


図-1 計算領域

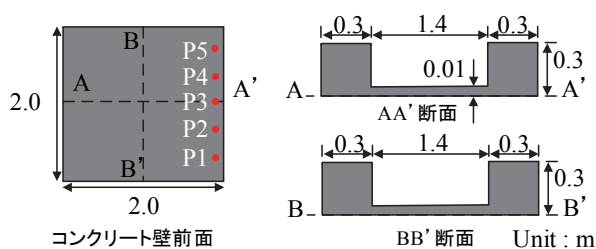


図-2 コンクリート壁の模式図

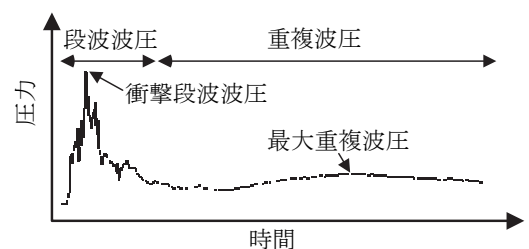


図-3 波圧の時系列の分類

表-1 計算条件

解析手法	有限体積法
計算格子間隔	x 方向 : 0.01~0.15 m y 方向 : 0.03~0.1m z 方向 : 0.01~0.05 m
計算格子数	6,903,723
計算時間間隔	0.001 s (adjustable)
計算時間	5.0 s
出力間隔	0.1, 0.01 s
乱流モデル	Laminar (乱流モデル未使用)
C_α	1.0

Operators) 法を用いている。計算条件は、表-1 に示すとおりである。

3. 計算結果および考察 図-4 に解析結果のスナップショットを示す。なお、解析結果の時刻 $t=0$ s は、段波がコンクリート壁上の P1 地点に衝突した瞬間とした。同図より、津波が斜面上で砕波し、段波状態で岸に伝播していることがわかる。そして、段波状津波がコンクリート壁に衝突し、飛沫を伴って跳ね上がっている様子が認められる。このように、OpenFOAM は、砕波や構造物衝突時の水塊の跳ね上がりといった平面 2 次元モデルでは解析できない 3 次元現象を取り扱うことができる。図-5 に、P1、P2 地点における作用波圧の時系列変化を示す。計算値は、構造物衝突時の衝撃段波波圧(図-3 参照)で実験値を若干過小評価しているものの、重複波圧(図-3 参照)に対して良好に再現している。

4. おわりに 本研究では、3 次元数値流体力学ツール OpenFOAM を用いて、有川ら (2007) が実施した津波実験の再現計算を行った。その結果、砕波や段波の衝突時の跳ね上がり等、平面 2 次元モデルでは解析できない 3 次元現象を捉えることができ、遡上津波-構造物衝突問題に対する OpenFOAM の有用性を検証した。また、構造物に作用する波圧についても、計算結果と実験結果の比較から、OpenFOAM は良好に水理実験を再現している。今後は、3 次元津波解析の更なる向上を目指すとともに、有限要素法による 3 次元構造解析を行い、津波によるコンクリート壁の変形挙動について検討する予定である。

参考文献 [1] 内閣府 (2012) : 南海トラフの巨大地震モデル検討会 (第二次報告) (オンライン) , http://www.bousai.go.jp/jishin/nankai/taisaku/pdf/20120829_2nd_report01.pdf. [2] 野中ら (2013) : 第 16 回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 256-272. [3] 有川ら (2007) : 海岸工学論文集, 第 54 巻, pp.841-845. [4] 有川ら (2006) : 海岸工学論文集, 第 53 巻, pp.796-800.

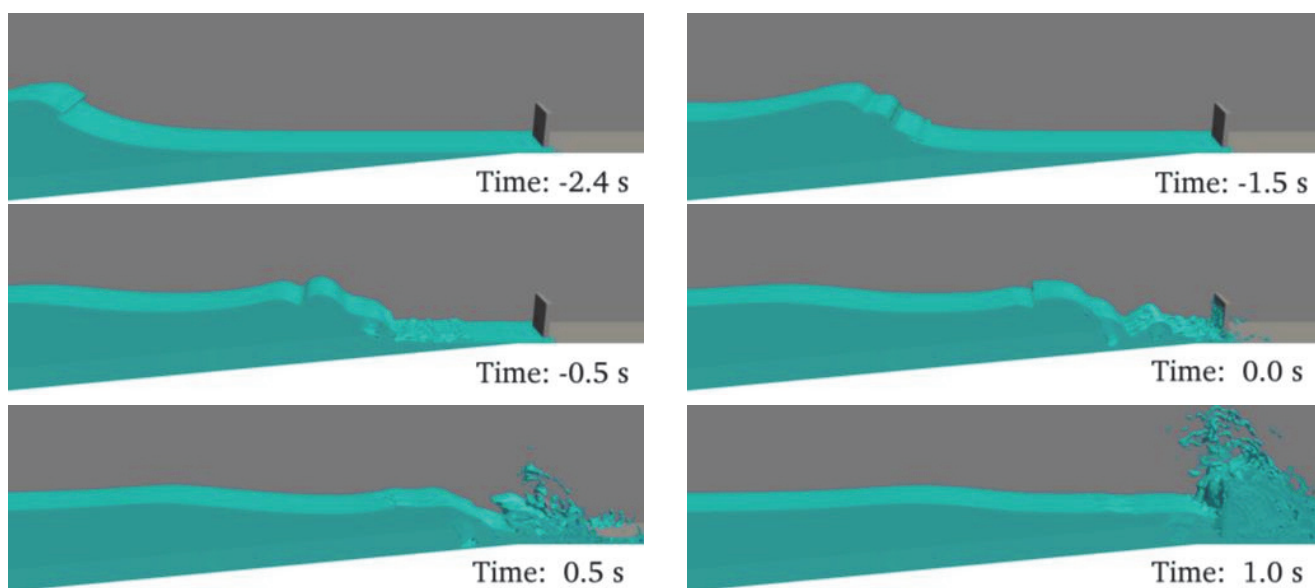


図-4 解析結果のスナップショット

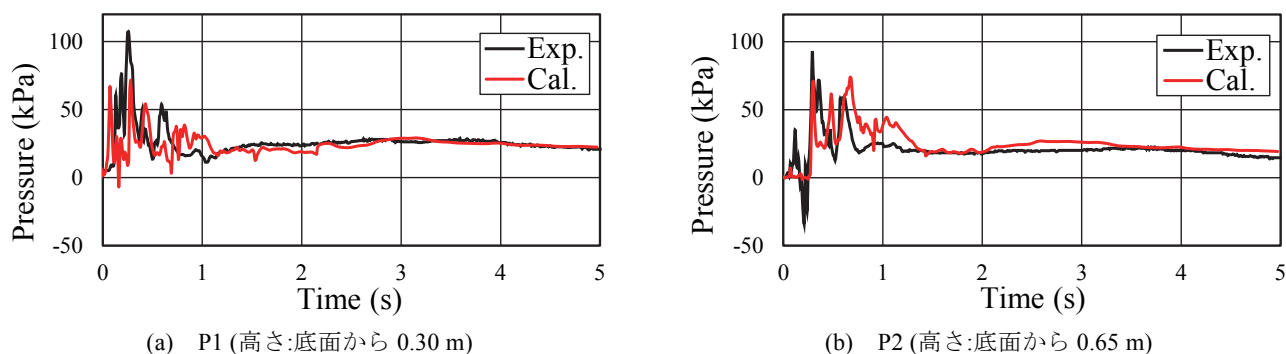


図-5 波圧の時系列変化